



Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie

44 | octobre 2009
Sur un Air d'Encyclopédie

L'air et le son dans l'*Encyclopédie*, un curieux silence

François Baskevitch



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rde/4556>
DOI : 10.4000/rde.4556
ISSN : 1955-2416

Éditeur

Société Diderot

Édition imprimée

Date de publication : 15 octobre 2009
Pagination : 15-30
ISBN : 978-2-9520898-1-4
ISSN : 0769-0886

Référence électronique

François Baskevitch, « L'air et le son dans l'*Encyclopédie*, un curieux silence », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* [En ligne], 44 | octobre 2009, document 3, mis en ligne le 13 octobre 2009, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/rde/4556> ; DOI : 10.4000/rde.4556

Propriété intellectuelle

L'air et le son dans l'*Encyclopédie*, un curieux silence

Un air silencieux

Lorsqu'on parcourt l'article AIR dans l'*Encyclopédie* (*Enc.*, I, 225-236), apparemment très complet si on se réfère à sa longueur, on s'attend à ce qu'il y soit fait allusion à la propagation des sons, au moins lorsqu'on traite de la propriété d'élasticité. L'attente est déçue, et la seule évocation du son se trouve dans l'énonciation du caractère de fluidité de l'air :

[...] Commençons par la *fluidité*. Cette propriété de l'air est constante par la facilité qu'ont les corps à le traverser, par la propagation des sons, des odeurs et émanations de toutes sortes qui s'échappent des corps ; car ces effets désignent un corps dont les parties cèdent au plus léger effort, et en y cédant, se meuvent elles-mêmes avec beaucoup de facilité : or voilà précisément ce qui constitue le fluide (p. 227b).

Le paragraphe entier est signé « M. Formey », toutefois cet extrait est la traduction d'un passage de la *Cyclopædia* de Chambers (1728). Les auteurs renvoient à l'article SON. Une autre référence au son apparaît dans un court article qui suit le principal, traitant de « l'air inné » et traduit également de l'article équivalent de la *Cyclopædia* :

AIR *inné*, est une substance aérienne extrêmement subtile, que les Anatomistes supposent être enfermée dans le labyrinthe de l'oreille interne, et qui sert selon eux à transmettre les sons au sensorium commune. Voyez LABYRINTHE, SON, OUIE.

Mais par les questions agitées dans ces derniers temps au sujet de l'existence de cet air inné, il commence à être fort vraisemblable que cet air n'existe pas réellement (*Enc.*, I, 236b)¹.

1. AIR INNÉ concerne l'anatomie de l'oreille et la physiologie, et mériterait une étude entière. Nous nous limiterons ici à l'étude de la nature physique des sons.

Nous n'en saurons pas plus ici et suivrons donc le conseil avisé de nous rendre à l'article SON. Un premier article, intitulé SON (*phys.*) présenté comme écrit par D'Alembert, est suivi d'un article SON (*en musique*) écrit par Jean-Jacques Rousseau. Le premier, constitué principalement de la traduction de l'article « sound » de la *Cyclopædia* de 1728 traite abondamment du processus de génération des sons, ainsi que de la vitesse de propagation, sujet très en vogue chez les savants du XVIII^e siècle. Cependant l'air n'y est pas considéré à sa juste place dans le phénomène acoustique, si ce n'est pour dire qu'il est le milieu approprié à la propagation des sons. Puisque l'air, ce milieu propre au son dit-on depuis toujours, ne nous en parle pas, nous allons cheminer à travers l'*Encyclopédie*, à partir de cet air étrangement silencieux, et nous laisser guider par les renvois qui nous mènent à la compréhension du phénomène sonore aérien.

Une acoustique davantage musicale que physique

Il est significatif d'observer l'évolution de l'emploi du terme « acoustique » au cours du XVIII^e siècle, et notamment dans l'*Encyclopédie*. En effet, si D'Alembert en fait une branche des « mathématiques mixtes », d'autres rédacteurs lui accordent une signification plus traditionnelle. Jusqu'alors, on rencontre le terme « acoustique » ici ou là, surtout dans la littérature anglo-saxonne du XVII^e siècle, il s'écrit alors « acoustick », et, adjectif devenu substantif, il désigne le cornet d'oreille utilisé par les sourds depuis qu'on en a importé l'usage d'Espagne. Hooke y fait référence, sous le nom « otocousticon » dans la préface de *Micrographia*. En France, ni le *Dictionnaire des arts et des sciences* de Thomas Corneille de 1694, ni le *Dictionnaire universel* d'Antoine Furetière de 1690, ne mentionne le terme « acoustique ». Joseph Sauveur, en 1700, s'approprie le mot et le popularise en France, mais de façon restrictive, dans le sens de l'étude des sons harmoniques². L'acception contemporaine du terme « acoustique » signifiant l'« étude de la physique des sons » a une origine germanique et s'affirme au tout début du XIX^e siècle, époque de la parution du *Die Akustik (Traité d'Acoustique)* de Chladni³. Pour sa part, l'*Encyclopédie*, dans le premier volume paru en 1751⁴, en donne la définition suivante :

2. Fontenelle, dans l'*Histoire de l'Académie Royale des Sciences pour l'année 1700*, écrit au sujet de l'auteur du « mémoire sur la détermination d'un ton fixe » de Joseph Sauveur : « Aussi M. Sauveur a-t-il pensé que c'était là un pays encore peu connu. Il a trouvé cette science plus vaste, à mesure qu'il y faisait plus de progrès, il a cru qu'elle méritait, aussi bien que l'Optique, un nom particulier, et l'a appelée Acoustique. ».

3. Ernst Chladni, *Die Akustik*, Leipzig, 1802. Traduction, *Traité d'Acoustique*, Courcier, Paris, 1809. Les premières expériences de Chladni datent de 1785 et ont fait l'objet d'une publication : *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, Leipzig, 1787.

4. L'article n'est pas repris dans le *Supplément à l'Encyclopédie* de 1776.

ACOUSTIQUE, s. f. est la doctrine ou la théorie des sons. *Voyez* SON. L'*Acoustique* est proprement la partie théorique de la Musique. C'est elle qui donne les raisons plus ou moins satisfaisantes du plaisir que nous fait l'harmonie, qui détermine les affections ou propriétés des cordes vibrantes, etc. V. SON, HARMONIE, CORDE (*Enc.*, I, 111a).

Ce court article non signé est écrit par Jean-Jacques Rousseau (il est repris dans le *Dictionnaire de musique*), sauf la première phrase qui est directement traduite de la *Cyclopædia*. Il est clair que Rousseau adopte le périmètre conventionnel de l'acoustique, au sens de Sauveur, et n'entreprend pas l'étude physique qu'il renvoie à l'article SON. La physique des sons est encore balbutiante et sa dénomination encore imprécise⁵. On trouve ainsi dans l'*Encyclopédie*, PHONIQUE issu de « phonicks », qui n'a finalement pas été retenu par la communauté savante. On invente également une terminologie homologue à celle de l'optique, comme CATACOUSTIQUE, synonyme de « cataphonique », « diaphonique » et DIACOUSTIQUE, en traduction des termes anglais définis dans la *Cyclopædia* de Chambers et puisés dans un article de Narcissus Marsh dont l'objet était d'établir une analogie parfaite entre le son et la lumière⁶. On trouve également dans l'*Encyclopédie* les mots inusités « otacoustique » et « polyacoustique » qui définissent les dispositifs destinés à augmenter les sons tels que cornets et porte-voix.

L'air et la physique des sons avant l'Encyclopédie

Avant de tenter une explication satisfaisante de cette absence du phénomène sonore dans l'article AIR, il convient d'exposer l'état des connaissances en acoustique physique à l'époque de la rédaction de l'*Encyclopédie*, vers le milieu du xviii^e siècle⁷.

La notion de vibration, l'intensité, la réflexion, la production du son consécutive à un choc, la durée de propagation, tout cela est connu dès la fin du xvii^e siècle. Les propriétés les plus délicates à concevoir sont la conservation du timbre malgré les obstacles, la distance considérable de

5. Ces raisons nous font préférer la terminologie « physique des sons » à « acoustique » dans cet article.

6. Narcissus Marsh, « Introductory Essay to the Doctrine of Sounds », *Phil. Trans.* 156, Oxford, 1684.

7. On trouvera toutes les références historiques et bibliographiques dans ma thèse soutenue en octobre 2008 à Nantes : François Baskevitch, *Les représentations de la propagation du son, d'Aristote à l'Encyclopédie*, thèse de doctorat en Histoire des Sciences et des Techniques dirigée par Patrice Bailhache, Université de Nantes, octobre 2008. Le présent article est à considérer comme un des prolongements de cette thèse.

propagation au regard de l'intensité de l'ébranlement initial, la constance de la vitesse indépendante de la hauteur et de l'intensité, et surtout la capacité de superposition sans perturbation de plusieurs sons simultanés. Tous les savants qui ont sérieusement étudié la nature physique du son ont éprouvé la difficulté d'établir une hypothèse de la propagation qui satisfasse à toutes les propriétés du phénomène sonore.

La nature et la propagation du son font l'objet d'études nombreuses de savants au xvii^e siècle, tels Bacon, Mersenne, Otto von Guericke, Boyle, Huyghens, Grimaldi, Claude Perrault, mais c'est vraiment avec Newton qu'on entre dans le siècle des mathématiciens. A l'inverse de ses prédécesseurs, Newton ne cherche pas à représenter le phénomène et n'utilise pas d'analogies destinées à illustrer le phénomène. Le son, c'est le *mouvement d'une perturbation* consistant en une succession de compressions et de détentes de l'air. Son approche est abstraite et analytique, et l'analogie proposée par Newton est celle de ce mouvement des pulsions avec le mouvement d'un point sur un cercle. Il s'agit là d'une démarche typiquement mathématique. Cependant l'étude des sons ne constitue pas pour lui un sujet digne de plus d'intérêt, et il passe à côté d'une étude analytique approfondie des phénomènes périodiques, dont la vibration sonore est l'archétype. La description de la propagation des sons par Newton, d'une apparente simplicité, marque une rupture dans l'histoire de l'acoustique physique. Certes, au xviii^e siècle, on continue à faire des observations et à entreprendre des expériences, mais la pensée scientifique dans ce domaine est en quelque sorte stérilisée par le respect intellectuel manifesté par l'ensemble des scientifiques envers le savant anglais, et par la cohérence de ses propositions. Les contributions à la physique des sons au cours de la première moitié du xviii^e siècle sont en définitive peu importantes. On étudie le comportement du son dans le milieu de propagation, en faisant varier les paramètres de pression et de température de l'air, on observe la propagation dans l'eau, plus tard on l'étudiera dans d'autres gaz puis dans les solides. On poursuit également les expériences de mesure de la vitesse du son, de façon de plus en plus précise et rigoureuse. Ce dernier sujet révèle la nécessaire connexion entre l'expérimentation et la théorisation.

L'auteur anglais de l'article « Sound » de la *Cyclopædia*, qui constitue l'essentiel de l'article SON dans l'*Encyclopédie*, cite à plusieurs reprises les travaux d'Hauksbee, savant anglais et élève de Hooke, qui s'intéresse à la physique de l'air ainsi qu'aux balbutiements de l'électricité. Francis Hauksbee (1666-1713) est membre de la Royal Society et publie plusieurs articles dans les *Philosophical Transactions*, de 1704 à 1715. Ses articles font l'objet d'une première publication en 1709, traduite en italien en 1716. Le jeune François de Brémond (1713-1742) entreprend une traduction en français des expériences de Hauksbee qui

paraîtra tardivement, en 1754⁸. Connus surtout pour ses traductions de l'anglais au français d'ouvrages scientifiques, le jeune Brémond avait entrepris celle des *Philosophical Transactions* pour les années 1731 à 1736. Admis comme « adjoint » à l'Académie royale des sciences en 1739, Brémond était sous la protection de Dortous de Mairan qui succède l'année suivante à Fontenelle comme secrétaire de la compagnie. Cet esprit brillant n'aura pas le temps de se faire connaître ni d'être publié de son vivant, il meurt en 1742 à l'âge de 29 ans.

Hauksbee s'intéresse à la propagation du son dans l'air et fait quelques expériences avec un air raréfié et condensé. Cependant ses textes se limitent à relater les expériences et à énoncer les résultats sans avancer d'hypothèses construites. Les expériences de Hauksbee⁹ sur le son ont été réalisées vers 1700, et portent sur trois thèmes : les différences d'intensité selon le niveau de compression de l'air, la propagation dans les liquides, et la nature ondulatoire de la propagation par l'inévitable analogie avec les ondes à la surface de l'eau.

François de Brémond profite de son statut de traducteur pour faire part de ses théories sur la propagation des sons. Il présente les travaux de Francesco-Maria Zanotti (1692-1777), philosophe et physicien de Bologne, qui avait pris connaissance des expériences d'Hauksbee par la traduction italienne de son traité¹⁰. Dans un long développement, Brémond confronte les deux approches en introduisant une notion délaissée par le savant anglais, « l'élasticité des parties du milieu », qui constitue, selon le Français, « une condition aussi essentielle pour la propagation des sons ». Il étudie alors la relation entre ces deux grandeurs, la densité (liée à la pression) et l'élasticité. L'une est-elle la conséquence de l'autre ou bien concourent-elles ensemble au phénomène ? Ces expériences sur le son et l'air, faisant intervenir des modifications de paramètres tels que densité, température et élasticité sont délicates à réaliser sans méthode de mesure précise de l'intensité sonore. Elles précèdent de quelques années la mathématisation de la propagation du son et sont pratiquement abandonnées jusqu'au siècle suivant.

Le grand physicien hollandais s'Gravesande travaille à Leyde sur l'élasticité de l'air et tente de comprendre le phénomène de propagation d'une déformation, le mouvement ondulatoire de l'air, en s'inspirant de

8. Francis Hauksbee [ou Hawksbee], *Expériences physico mécaniques*, trad. F. Brémond, Paris, 1754, 2 tomes.

9. Hauksbee, *Expériences physico mécaniques*, o.c., t. II, p. 307-382.

10. Francesco Maria Zanotti, « De sono », *De bononiensi scientiarum et artium Instituto atque Academia commentarii*, t. 1, Bologne, 1731, p. 173-181.

la théorie développée par Newton dans les *Principia*¹¹. Ses observations sont reprises et largement commentées par son compatriote Musschenbroek dans son *Essai de physique*¹².

D'autres recherches sont également effectuées par Dortous de Mairan et par l'abbé Nollet, académiciens contemporains de l'*Encyclopédie*. Pourtant, peu de temps auparavant, la théorie ondulatoire avait été très correctement décrite par Noël Régnault dans les *Entretiens physiques d'Ariste et d'Eudoxe*, ouvrage de vulgarisation, certes, mais rigoureux et documenté. Ce passage introduit la problématique de la propagation du son à vitesse constante¹³ :

Ariste : Une bille porte son impression d'autant plus loin, dans un certain temps, qu'elle a reçu plus de mouvement : pourquoi l'air frappé ne ferait-il pas de même ?

Eudoxe : Il y a de la différence. Le mouvement de la bille est un mouvement de transport qui ne fait qu'éloigner la bille de l'endroit d'où le mouvement part. Mais le mouvement de l'air est un mouvement de vibration, uniquement employé à faire avancer les extrémités des lames d'air vers un centre commun et à les en éloigner. Or ces extrémités se trouvent également éloignées de ce centre dans un temps déterminé [...]

Cette explication est pertinente et elle aurait dû interpeller les partisans des particules différenciées de Mairan.

Un autre grand thème, en rapport indirect avec la propagation du son, est l'étude analytique de la vibration des cordes donnant lieu à la célèbre controverse, dite des « cordes vibrantes », qui s'expose dans les mémoires de l'Académie des sciences de Berlin, entre 1749 et 1753 et dont les protagonistes sont D'Alembert, Daniel Bernoulli et Leonhard Euler. Lors de la rédaction de l'article FONDAMENTAL, Son fondamental (VII, 54-57) écrit peu de temps après la publication de ses articles sur les cordes vibrantes, D'Alembert reprend en partie, en la complétant, la thèse de Bernoulli, écarte celle d'Euler, et fait un exposé complet de sa propre théorie (VII, 55b-56a) qu'il avait déjà présentée dans l'article CORDES (vibrations) (IV, 210-211). C'est peu de temps avant que D'Alembert prenne ses distances avec le projet encyclopédique, et sa contribution à l'article SON, rédigée probablement vers 1760, est, dès lors, très succincte.

11. Jakob s'Gravesande, *Elements de physique*, Leyde, 1720, trad. Joncourt, Paris, 1746, t. 2, livre IV, chap. 7, p. 51-74.

12. Pieter van Musschenbroek, *Essai de physique*, Leyden, Luchtmans, 1751, t. 2, p. 689-711.

13. Noël Régnault, *Entretiens physiques d'Ariste et d'Eudoxe ou physique nouvelle en dialogues*, Paris, 1732, 1745, t. 3, p. 42.

Le Son (Musique) dans l'Encyclopédie

L'article sur le son en musique, écrit par Jean-Jacques Rousseau qui parle volontiers à la première personne, s'étend largement sur le rôle de l'air dans le phénomène sonore :

SON (en musique)

[...] Je suppose d'abord que le véhicule du *son* n'est autre chose que l'air même. Premièrement, parce que l'air est le seul corps intermédiaire de l'existence duquel on soit parfaitement assuré, entre le corps sonore et l'organe auditif, qu'il ne faut pas multiplier les êtres sans nécessité, et que l'air suffit pour expliquer la formation du *son* ; et de plus, parce que l'expérience nous apprend qu'un corps sonore ne rend pas de *son* dans un lieu exactement privé d'air. Si l'on veut absolument imaginer un autre fluide, on peut aisément lui appliquer tout ce que nous avons à dire de l'air dans cet article (*Enc.*, XV, p. 345a).

Ici Rousseau écarte l'hypothèse d'un milieu plus fluide, sorte d'éther sonore, qui serait commun aux corps sonores, à l'air et à tout autre milieu de propagation.

Rousseau expose ensuite la théorie communément adoptée des vibrations de l'air, analogues à celles du corps sonore, en se référant aux expériences habituellement pratiquées. Le texte est largement inspiré, jusqu'aux exemples proposés, du chapitre consacré au son dans le *Traité de Physique* de Rohault¹⁴ qui, au milieu du XVIII^e siècle, faisait encore autorité comme manuel de physique cartésienne auprès du grand public éclairé. Comme beaucoup de théoriciens de la musique, Rousseau ne distingue pas ces « vibrations » aériennes, du mouvement de propagation d'ondes sans transport de matière. Toutefois, alors que Rohault évoque l'obstacle de la superposition sans l'approfondir, Rousseau affronte le problème :

[...] Une difficulté qui resterait à expliquer est de savoir comment deux ou plusieurs *sons* peuvent être entendus à la fois. Lorsqu'on entend, par exemple, les deux *sons* de la quinte, dont l'un fait deux vibrations, pendant que l'autre en fait trois; on ne conçoit pas comment la même masse d'air peut fournir dans un même temps ces différents nombres de vibrations, et bien moins encore, quand il se trouve plus de deux *sons* ensemble (p. 346a).

14. Jacques Rohault, *Traité de physique*, Paris, 1671, nombreuses rééditions jusqu'à 1750, chap. 26, *du son*.

Rousseau expose alors deux des représentations de la propagation du son dans l'air capables de prendre en compte cette exigence, dont celle de Dortous de Mairan :

[...] L'air, selon lui, est divisé en particules de diverses grandeurs, dont chacune est capable d'un ton particulier, et n'est susceptible d'aucun autre. De sorte qu'à chaque *son* qui se forme, les particules qui y sont analogues s'ébranlent seules, elles et leurs harmoniques, tandis que toutes les autres restent tranquilles jusqu'à ce qu'elles soient émues à leur tour par les *sons* qui leur correspondent. Ce système paraît très ingénieux ; mais l'imagination a quelque peine à se prêter à l'infinité de particules d'air différentes en grandeur et en mobilité, qui devraient être répandues dans chaque point de l'espace, pour être toujours prêtes au besoin à rendre en tout lieu l'infinité de tous les sons possibles. Quand elles sont une fois arrivées au tympan de l'oreille, on conçoit encore moins comment, en les frappant plusieurs ensemble, elles peuvent y produire un ébranlement capable d'envoyer au cerveau la sensation de chacune d'elles en particulier (p. 346a).

Prudent, Rousseau n'adhère pas à l'hypothèse de Mairan et conclut, sans proposer d'autre explication : « Il semble qu'on éloigne la difficulté plutôt qu'on ne la surmonte ».

Quant à l'autre théorie présentée par Rousseau, on lit :

[...] Mengoli prétendait aller au-devant de cette dernière objection, en disant que les masses d'air, chargées, pour ainsi dire, de différents *sons*, ne frappent le tympan que successivement, alternativement, et chacune à son tour; sans trop songer à quoi cependant il occuperait celles qui sont obligées d'attendre que les premières aient achevé leur office (p. 346a).

L'hypothèse des « impulsions alternatives » de Pietro Mengoli (1626-1686) est audacieuse¹⁵. Se basant sur l'existence de deux membranes dans l'oreille, Mengoli réfute la théorie de la « coïncidence des coups » qui fonde la théorie de la consonance depuis Benedetti et Galilée. Il imagine alors que les sons sont des impulsions successives qui se propagent sans se perturber. Mengoli était plutôt connu comme mathématicien et sa contribution à la physique des sons ne semble pas avoir eu beaucoup de retentissement sauf à Londres où il avait réussi à attirer l'attention d'Oldenburg qui pourtant ne le suit pas dans cette voie originale¹⁶. On peut s'interroger sur l'importance accordée par Rousseau à ce savant oublié.

15. Pietro Mengoli, *Speculationi di musica*, Bologne, 1670. Des courts extraits sont traduits en anglais dans *Philosophical Transactions*, 100, 1674, p. 6194-7000.

16. Au sujet de cette théorie, voir l'article de Paolo Gozza, « Atomi, spiritus, suoni, le speculationi di musica (1670) del galileano Pietro Mengoli », *Nuncius*, vol. 5, 1991, 75-98.

Parmi les trois caractéristiques du son, Rousseau relève qu'à côté de la hauteur et de l'intensité, il y a le timbre qui fait que : « Un hautbois aura beau se mettre exactement à l'unisson d'une flûte, il aura beau radoucir le *son* au même degré, le *son* de la flûte aura toujours je ne sais quoi de doux et de moelleux, celui du hautbois je ne sais quoi de sec et d'aigre, qui empêchera qu'on ne puisse jamais les confondre. ». Cependant Rousseau avoue son ignorance, et en reste là pour ce qui concerne la physique des sons : « Il faudra donc trouver dans les corps sonores une troisième modification différente de ces deux, pour expliquer cette dernière propriété ; ce qui ne me paraît pas une chose trop aisée ; il faut recourir aux *Principes d'acoustique* de M. Diderot, si l'on veut approfondir cette matière. ».

Le Son (Physique) dans l'Encyclopédie

Les *Principes généraux d'acoustique* de Denis Diderot forment le premier des *Cinq Mémoires de Mathématiques*, un de ses premiers ouvrages paru en 1748. Ce traité peu connu propose un aperçu de l'état des connaissances en acoustique avant l'*Encyclopédie*. Diderot y expose la mathématisation de la vibration des cordes par Brook Taylor, encore peu connue en France¹⁷. Il donne également une explication de l'échelle logarithmique appliquée à la hauteur du son, et esquisse une étude de la vitesse instantanée de la corde vibrante. Cependant l'acoustique harmonique occupe une place importante, au détriment de l'acoustique physique et de la propagation du son. L'attente de Rousseau sur l'explication physique du timbre est déçue, car Diderot ne traite le sujet que sous l'angle de l'harmonie. Il est vrai qu'aborder la physique des sons par l'étude des cordes vibrantes constitue le paradigme dominant depuis la Renaissance, ce qui conduit à une analyse très partielle du phénomène sonore. En effet, cette approche privilégie la caractéristique de hauteur, liée au nombre de vibrations, au détriment de l'étude de la propagation qui reste bien mystérieuse. Toutefois Diderot esquisse une hypothèse de la structure de l'air, et reprend une audace terminologique qui commence à apparaître autour de ces années, celle de la « fibre sonore ».

La notion de fibre apparaît à la fin du xvii^e siècle, d'abord dans le monde de la physiologie. Un long article de l'*Encyclopédie* décrit la fibre comme un corps ne possédant qu'une dimension, sa longueur :

FIBRE, (*Economie anim. Medecine.*)

[...] *Formation des fibres.* Un élément séparé peut être considéré comme un point mathématique, qui n'a ni longueur, ni largeur, ni profondeur ;

17. Brook Taylor, « De motu nervi tensi », *Phil. Trans.* 337, Londres, 1713, *Methodus incrementorum directa et inversa*, Londres, Pearson, 1715.

mais dès qu'il est uni à d'autres, selon la direction d'une ligne, avec quelque sorte de résistance à la division des parties du tout qui en est formé, il en résulte une des trois sortes de dimensions, qui est la longueur ; c'est un corps composé, étendu seulement selon cette direction; c'est un corps divisible seulement en ce sens-là : c'est ainsi que peut être conçue la formation de la fibre simple, qui, par rapport à la divisibilité, est censée n'avoir ni longueur, ni épaisseur (*Enc.*, VI, p. 664a) ;

Le paragraphe signé d'Aumont se termine par les propriétés de la fibre, dont l'élasticité:

[...] Une autre propriété des fibres, qui dérive bien naturellement de la force élastique, c'est la vibratilité ; ce seroit ici le lieu d'en traiter aussi; mais elle appartient de trop près au mécanisme de l'ouïe, pour en séparer ce qu'il y a à dire de cette propriété consectaire. *Voyez SON, OUIE, OREILLE* (p. 666b)

Il semble que la définition et les propriétés des fibres appliquées à l'acoustique soient introduites par Jean Bernoulli (Jean II, 1710-1790) dans son *Mémoire sur la propagation de la lumière* primé par l'Académie Royale des Sciences en 1736¹⁸ :

Le son, aussi bien que la lumière, prend son origine par la production des fibres qui s'excitent immédiatement à l'endroit où le corps, qu'on appelle sonore, ébranle l'air circonvoin, lesquelles fibres ensuite s'étendent, en se multipliant, comme je l'expliquerai, à des distances plus ou moins grandes, selon la grandeur de la force avec laquelle le corps sonore frappe l'air qui le touche ; je les appellerai *Fibres sonores*, comme j'ai appelé celles de la lumière *Fibres lumineuses*. Dans l'essentiel, ces deux sortes de fibres ont la même nature : car les unes et les autres demandent un milieu élastique, toujours dans un état de compression, dont les parties s'efforcent sans cesse de s'étendre, mais qui sont toujours contrebalancées par les forces égales des parties voisines.

Selon Jean Bernoulli, ces fibres sont élastiques et subissent des compressions et des détentes dans le sens de leur longueur. Les agitations longitudinales de ces parties d'air rencontrant l'opposition des parties conjointes, « ces parties se comprimeront sur la direction de la fibre, et s'étendront par là en largeur sur les deux côtés, ce qui fera naître de nouvelles fibres accessoires qui sortent de la principale comme des branches, et qui peuvent porter aussi le son, quoique plus faiblement, par des voies obliques, et non directement opposées à son origine ». Cette

18. Jean Bernoulli, *Recherches physiques et géométriques sur la question : comment se fait la propagation de la lumière*, Pièce qui a remporté le prix de l'Académie royale des sciences en l'année 1736, Paris, 1737, p. 24-25.

représentation permet de concilier la notion de « rayon sonore » inadaptée mais très présente dans la littérature, avec celle de propagation d'ondes sonores, développée par Huygens, dans laquelle chaque point de réception d'une onde devient émetteur d'autres ondes¹⁹.

Si D'Alembert est présenté par la signature (O) comme l'auteur de l'article SON (*physique*), celui-ci est constitué en grande partie de la traduction de l'article « sound » de la *Cyclopædia*. Le physicien français n'en a écrit que le quart environ, dont un paragraphe complet sur la vitesse du son, issu de son *Traité du mouvement des fluides* paru en 1744²⁰. L'article SON de l'*Encyclopédie* n'échappe pas à cette problématique de la vitesse du son qui traverse le siècle. La *Cyclopædia* avait déjà largement rapporté les nombreuses expériences anglaises de mesure de la vitesse du son (Francis Roberts, Boyle, Walker, Flamsteed et Halley, Derham). Leonhard Euler écrit en 1727, il a alors 20 ans, une *Dissertatio physica de sono*, son premier travail universitaire dans lequel il tente d'expliquer par un artifice de calcul la différence entre la vitesse mesurée et celle calculée par Newton. Il y reviendra en 1738 à la fin de la *Dissertatio de igne*. Tout au long du XVIII^e siècle cette distorsion plonge les scientifiques dans une grande perplexité, tiraillés entre le respect envers la rigueur de la démonstration du savant anglais, et les mesures de plus en plus précises effectuées dans plusieurs pays, notamment par Cassini de Thury en 1737 à la demande de l'Académie royale des sciences. Le problème est repris en 1737 par Jean Bernoulli dans le *Discours sur la propagation de la lumière*. D'Alembert consacre un chapitre du *Traité des fluides* (1744) à cette même question et Lagrange y revient en 1759 dans les *Recherches sur la nature et la propagation du son*.

Après avoir décrit la théorie du son exposée dans les *Principia* de Newton comme le passage « peut-être le plus difficile et le plus obscur de tout l'ouvrage », D'Alembert oppose à cette théorie celle d'un auteur, ici anonyme, qui fait lui aussi référence aux fibres sonores :

SON (*physique*)

[...] Un auteur qui a écrit depuis sur cette matiere, prétend qu'on peut faire contre la théorie de MM. Newton & Bernoulli, une objection

19. Si on appelle « rayon sonore » la perpendiculaire au front d'ondes, c'est-à-dire la direction de propagation de l'énergie sonore, alors ce terme est acceptable. Cependant il est équivoque à cause de l'analogie qu'il induit avec les rayons de lumière, en particulier lors de la réflexion du son qui se produit selon les lois différentes (égalité de l'angle d'incidence et de réflexion pour la lumière ; et pour le son, production d'un champ sonore au point de réflexion qui se propage dans un volume quasi-sphérique, le plus souvent cardioïde).

20. D'Alembert, *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides*, Paris, David, 1744, p. 219 ; « De la vitesse du son », p. 181.

considérable ; savoir, que ces deux auteurs supposent que le *son* se transmet par des fibres longitudinales vibrantes, qui se forment successivement, & qui sont toujours égales entr'elles ; or cette hypothèse n'est point démontrée, & ne paroît point même appuyée sur des preuves solides (*Enc.*, XV, p. 344b).

Cet auteur encore inconnu n'est autre que Joseph-Louis de Lagrange (1736-1813) qui, à l'âge de 23 ans vient de publier un texte auprès de l'Académie de Turin qu'il venait de créer. Ce mémoire publié en 1759 est intitulé *Recherches sur la nature et la propagation du son*²¹. A cette occasion, le jeune physicien prend contact avec D'Alembert qui l'encourage à poursuivre ses recherches sur la mathématisation de la propagation des ondes. Dans sa première lettre à Lagrange, qui nous soit parvenue, D'Alembert accuse réception du mémoire sur le son et lui fait cet éloge « vous êtes destiné, si je ne me trompe, à jouer un grand rôle dans les sciences, et j'applaudis d'avance à vos succès... »²². A la suite d'une correspondance importante et enrichissante avec Euler, Lagrange publie deux autres mémoires sur le son en 1760 et 1761 qui approfondissent et complètent les différents articles sur les cordes vibrantes publiés dix ans plus tôt par ses aînés.

D'Alembert abandonne la codirection de l'*Encyclopédie* en 1758 et l'article SON (*physique*), ébauché probablement à cette époque, semble très incomplet et ne répond pas aux attentes. Il est en effet constitué d'un curieux mélange de théories anciennes et d'autres très avancées. On y côtoie Mersenne, Kircher, Marsh, puis on y lit les théories de Claude Perrault à travers la partie traduite de la *Cyclopædia*, ainsi que, très brièvement, celle de Newton et enfin cette allusion bien courte aux recherches de Lagrange.

Le silence de D'Alembert sur le son dans l'Encyclopédie

Si la physique des sons est peu abordée dans le *Discours préliminaire*, elle figure sous la dénomination « acoustique » dans le *Système figuré*, aux côtés de la mécanique et de l'optique, sans détail il est vrai. L'introduction de cette discipline sous le nom qui désigne généralement la théorie musicale des intervalles et des consonances est réellement une innovation. Désormais le son n'est plus seulement la matière première de la musique, mais c'est également un phénomène naturel dont il est

21. Joseph-Louis de Lagrange, « Recherches sur la nature et la propagation du son », *Miscellanea Taurinensia*, I, 1759, *Œuvres de Lagrange*, Paris, Gauthier-Villars, 1868, t 1, p. 40-148.

22. J.-L. Lagrange, *Œuvres*, t. 13, Correspondance, p. 4.

légitime d'entreprendre l'étude. L'acoustique fait partie, dans l'*Explication détaillée du système des connaissances humaines*, des « mathématiques mixtes » qui comprennent « autant de divisions et de sous-divisions qu'il y a d'êtres réels dans lesquels la quantité peut être considérée ». C'est ainsi que « la quantité considérée dans le son, dans sa véhémence, son mouvement, ses degrés, ses réflexions, sa vitesse, etc., donne l'acoustique ». Pourtant, cette acoustique physique n'est pas traitée en tant que telle dans l'*Encyclopédie* à l'entrée ACOUSTIQUE, ni à l'entrée AIR, ce qui aurait permis à D'Alembert de développer le sujet, mais renvoyée à l'article SON, rédigé bien plus tard, et dont l'insuffisance est sans aucun doute imputable à l'absence du physicien désormais retiré de la direction du projet encyclopédique.

Il est alors pertinent d'approfondir, pour le comprendre, ce silence sur le son lors de l'étude de l'air par les encyclopédistes. Pour expliquer ce silence, on peut formuler l'hypothèse, compte tenu de l'état des connaissances, d'une simple ignorance du mécanisme de la propagation d'une perturbation dans un fluide et, d'une façon générale, de l'évolution d'une transformation physique dans le temps. Plutôt que de s'aventurer dans des conjectures hasardeuses, les encyclopédistes auraient préféré dans ce cas un silence prudent. Cependant, cette hypothèse du silence par ignorance est peu crédible. Au moment de la rédaction de l'article AIR, vers 1750, D'Alembert est engagé, avec son rival Euler et Daniel Bernoulli, dans l'étude analytique des vibrations des cordes. Ces savants éminents sont sur le point de réaliser de grandes avancées dans le domaine du mouvement des ondulations, et D'Alembert n'ignore pas que ces théories nouvelles vont s'appliquer à la propagation des sons.

Une autre hypothèse peut être formulée sur l'absence du son dans l'article AIR, c'est la conviction maintenant établie, chez D'Alembert et chez d'autres physiciens, de la nature particulière du « mouvement » sonore, et du simple rôle de milieu de propagation attribué à l'air. Si on parvient à déterminer les lois de propagation de ce type de mouvement, elles seront conservées quel que soit le milieu de propagation, et même, pourquoi pas, quel que soit la nature du phénomène agissant à distance. Une phrase du *Discours préliminaire*, à propos des corps électriques, pourrait s'appliquer aux phénomènes sonores : « [ils] sont peut-être en un sens les corps les moins connus, parce qu'ils paraissent l'être davantage ». Les phénomènes sonores sont en effet largement connus, observés, voire mesurés, mais il est encore impossible d'en trouver le principe et les lois. On retrouve d'ailleurs le même type de difficultés au sujet de l'électricité et du magnétisme. Ces trois domaines de la physique, dissemblables et séparés, sont parfois même écartés des classifications des sciences, puisque, si le *Système figuré* introduit discrètement l'acoustique

physique, il ne cite ni l'électricité ni le magnétisme²³. Ces phénomènes ont en commun un mouvement d'une nature particulière, sans transport de matière. Dans le cas du son, il s'agit du mouvement d'une perturbation, en quelque sorte du mouvement d'un mouvement. Déjà vers 1670, Gaston Pardies avait évoqué le mouvement d'ondulation (et non de vibration qu'il distinguait), comme un principe commun à ces phénomènes, mais, avant Newton, cette abstraction rebutait de nombreux savants plus séduits par les représentations que par le raisonnement.

La démarche de D'Alembert est en rupture avec celle des physiciens du xvii^e siècle. Là où, après avoir observé et expérimenté, la plupart des savants proposaient des représentations du mouvement sonore dans l'air, D'Alembert, à la suite de Newton et de Brook Taylor, cherche une loi physique par le recours à la mathématisation du phénomène de vibration. Dès lors, l'air n'intervient pas dans le processus de recherche, il n'est, en quelque sorte, qu'un milieu parmi d'autres, et le son n'est qu'un phénomène vibratoire parmi d'autres. Ces phénomènes physiques provoquant des effets à distance sans transport de matière, s'inscrivent mal dans la physique décrite par D'Alembert, fondée sur « l'impénétrabilité des corps qui délimitent l'étendue », c'est à dire dans une physique statique et géométrique. Le mathématicien est en train d'élaborer la transition d'une physique de la représentation, dont les lois se construisent à partir de la géométrie, à une physique de la variation, analytique et fondée sur le calcul différentiel.

L'hypothèse la plus probable du silence sur le son dans l'article AIR, est donc à rechercher dans l'attente d'une modélisation cohérente et stable du processus de propagation sonore dans l'air, dont les lois seraient celles des vibrations en général. Leur formulation est sur le point d'être exposée, grâce à l'étude des vibrations des cordes que D'Alembert entreprend dès 1747. Est-ce que D'Alembert se réservait en vue de la rédaction de l'article SON ? Il ne fallait pas trop attendre de Rousseau une étude approfondie de l'acoustique physique, et D'Alembert semble d'ailleurs lui laisser le champ libre pour la théorie musicale (articles SON, *musique* et ACOUSTIQUE). D'Alembert cite, de façon anonyme, la récente théorie de Lagrange publiée en 1759, mais pas les mémoires parus les années suivantes, ni les trois mémoires sur la propagation des sons d'Euler parus la même année, ni même celui de Daniel Bernoulli paru en 1753. En revanche, les citations de ses propres travaux plus anciens (1744), de ceux d'Euler (1736), de Nollet (1743) et de Jean Bernoulli (1737) laissent comprendre que ces deux paragraphes ont peut-être été écrits par D'Alembert avant 1750. Nous ne savons pas si le

23. L'électricité et le magnétisme sont pourtant largement traités dans l'*Encyclopédie*.

savant avait laissé des notes concernant l'acoustique physique, et ce silence sur le sujet pendant une décennie est troublant. Pourtant les articles CORDES, FONDAMENTAL, et ONDULATIONS semblaient prometteurs, et renvoyaient d'ailleurs à l'article SON, ultérieur dans l'ordre alphabétique.

Elasticité, fluidité, compressibilité, vide et interstices entre particules, la nature physique des sons est intimement liée à la représentation de la nature physique de l'air. L'*Encyclopédie* aurait pu participer à la construction de cette nouvelle science des sons. Néanmoins le processus de propagation des sons dans l'air n'est pas maîtrisé par les encyclopédistes, et le silence sur ce sujet s'explique par les attentes d'une théorie cohérente des mouvements vibratoires sans transport de matière. Il reste à élaborer une méthode mathématique pour appréhender la notion de vibration en s'affranchissant une fois pour toutes de la géométrisation des trajectoires, de l'approche strictement musicale et de la représentation fondée sur des analogies pas toujours pertinentes.

ANNEXE :

Bibliographie principale (première moitié du XVIII^e siècle) :

Les principaux textes traitant de la physique des sons dans la première moitié du XVIII^e siècle, avant la rédaction de l'*Encyclopédie* se résument à une dizaine :

Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, 1751-1765.

Francis Hauksbee : *Physico-Mechanical Experiments* (1709), ouvrage relatant notamment de nombreuses expériences sur la propagation du son dans l'air. La traduction en français, préfacée par François de Brémont avec d'abondants et pertinents commentaires, paraît tardivement, en 1754.

Jacob's Gravesande : *Physices elementa mathematica*, 1721, ouvrage inspiré de Newton et dont le dernier chapitre du premier volume est consacré au son, en une vingtaine de pages (traduction française de Joncourt en 1746).

Francesco Maria Zanotti : *De sono* (1731), article paru dans les Commentaires de l'Académie de Bologne, en commentaire aux expériences d'Hauksbee.

Pierre Van Musschenbroek, *Institutiones physicae* (1734, traduction française de Massuet, *Essai de Physique*, 1751), un long chapitre sur le son dans le tome II.

Leonhard Euler : *Dissertatio physica de sono* (1727) et deux paragraphes à la fin de la *Dissertatio de igne* (1737).

Jean Bernoulli (dit Jean II) : une vingtaine de pages du *Discours sur la propagation de la lumière* (1736).

Jean-Jacques Dortous de Mairan : « Discours sur la propagation des sons », *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1737).

Cassini de Thury, « Sur la propagation du son », *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1738), description et analyse des expériences de mesure de la vitesse du son.

Jean-Antoine Nollet : *Leçons de physique expérimentale*, 1745, tome III.

Jean le Rond D'Alembert, cinq pages, en réponse au traité de Jean Bernoulli, dans le *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides* (1744).

Denis Diderot : *Principes généraux d'acoustique* (1748).

Les écrits d'Euler, de Jean Bernoulli, de Cassini et de D'Alembert concernent presque exclusivement la détermination de la vitesse du son.

François BASKEVITCH
Centre François Viète, Université de Nantes